



Aalborg Universitet

**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

## **GNSS baseret roadpricing**

*Vurdering af teknologi, afgiftsstrukturer, fiskale aspekter, snyd og overvågning*

Lahrmann, Harry

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Lahrmann, H. (2012). *GNSS baseret roadpricing: Vurdering af teknologi, afgiftsstrukturer, fiskale aspekter, snyd og overvågning.*

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Aalborg den 22. oktober 2012

# GNSS baseret roadpricing

## - vurdering af teknologi, afgiftsstrukturer, fiskale aspekter, snyd og overvågning

---

Af lektor Harry Lahrman

### Indledning

Arbejdsgruppe 6 om landsdækkende roadpricing skal jf. kommissoriet give input til:

1. at kortlægge, hvor langt man er teknologisk fra at kunne udvikle et velfungerende landsdækkende roadpricingsystem
2. at vurdere, hvilke effekter forskellige afgiftsstrukturer kan få på trængsel, miljø og klima
3. at vurdere fiskale aspekter af roadpricing
4. at beskrive, hvordan manglende og unøjagtige GNSS-positioner håndteres
5. at beskrive, hvordan der kan tages højde for snyd, f.eks. jamming af signaler
6. at beskrive, hvordan datasikkerhed og overvågningsaspektet håndteres

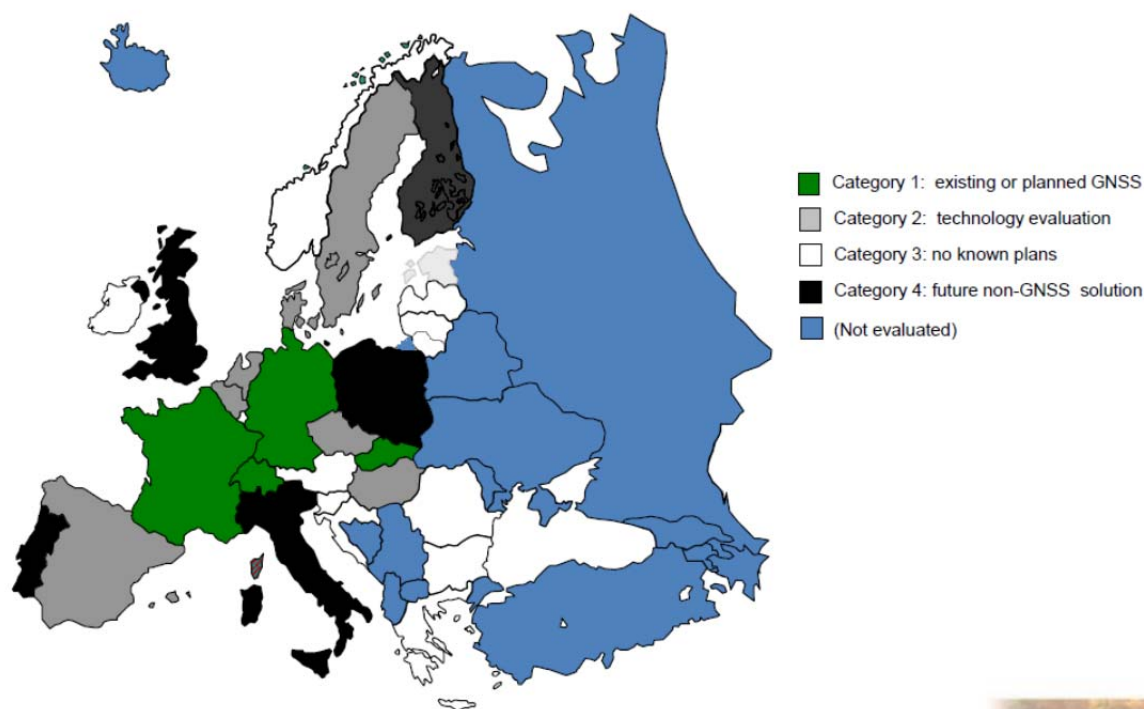
Forfatteren af dette notat har siden 1998 gennemført en række forskningsprojekter, som har brugt en løbende positionsbestemmelse af en bil vha. GNSS til forskellige formål – herunder til beregning af kørselsafgifter. I notatet er disse 14 års erfaringer opsummeret i form af vurderinger og kommentarer til de hovedspørgsmål, som arbejdsgruppen, jf. ovenstående, skal give input til. Notatet er af tidsmæssige grunde skrevet som et workingpaper til arbejdsgruppen uden et videnskabeligt papirs normale noter og referencer. Disse kan eventuelt tilføjes senere.

### Kortlægge, hvor langt man er teknologisk fra at kunne udvikle et velfungerende landsdækkende roadpricingsystem

Ved vurderingen af dette spørgsmål vil der blive taget to tilgange, dels en beskrivelse af, om der findes implementerede systemer i andre lande og dels en overordnet teknologisk vurdering af de komponenter, som et GNSS roadpricingsystem vil bestå af.

Der findes systemer til GNSS-baserede kørselsafgifter i en række europæiske lande, men systemerne omfatter kun lastbiler og dækker typisk kun en begrænset del af vejnettet. Det første land, der indførte lastbilafgifter, var Schweiz i 2001, og Tyskland fulgte efter i 2005. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** på næste side viser status i september 2011. Siden har også Polen og Danmark besluttet GNSS-baserede lastbilafgifter. Erfaringerne fra landene, der har indført GNSS-lastbilafgifter, er blandede. Systemet i Schweiz er specielt, fordi GNSS alene bliver brugt til kontrolformål, hvorimod det er signalet fra lastbilens fartskriver, der anvendes til afgiftsberegning. Systemet i Tyskland var omfattet af store

indkøringsvanskeligheder og blev forsinket i 1,5



Figur 1 Stade på lastbilafgifter september 2011

år. Vurderingen er, at forsinkelsen blandt andet opstod, fordi tidsplanen var alt for stram: der var kun afsat 1 år og 4 måneder fra lovens vedtagelse til den planlagte startdato. Siden er GNSS-systemet indført i Slovakiet, hvorfra der ikke er rapporteret om implementeringsvanskeligheder. Endelig er Frankrig langt med planlægningen af et GNSS-system for lastbiler, og Polen og Danmark er, som nævnt, også på vej. Sammenfattende kan man vel konkludere, at det er tydeliggjort, at GNSS systemer – med den udformning de har fået i de omtalte lande - kan fungere i praksis, men også at især de tyske erfaringer peger på, at den største risiko ved implementering af sådanne systemer er en forceret implementeringsproces – fordi systemerne ofte planlægges i forbindelse med politiske aftaler, hvor det er afgørende, at provenuet er tilstede til det aftalte tid.

Principielt kan der ikke gives et svar på, hvor langt man teknologisk er fra et GNSS-roadpricing system uden at kende takststrukturen og kravene til nøjagtighed og pålidelighed i afgiftsberegningen – mere herom senere. Men helt overordnet er det vurderingen, at der i dag ingen principielle teknologiske barrierer er for et GNSS-baseret roadpricingsystem. Et GNSS-baseret roadpricingsystem består af velkendte komponenter:

- en GNSS-modtager i biler
- en trådløs forbindelse mellem bil og en backendserver
- et digitalt kort med takststruktur og
- software (der kan omsætte GNSS-positionerne til en pris udregnet i henhold til takststrukturen og efterfølgende opkræve beløbet hos bilejeren)
- et kontrolsystem (hvor der er en række kendte teknologiske muligheder, og hvor valget afhænger af kontrolstrategi og -niveau)

Til gengæld viser erfaringen fra udenlandske GNSS systemer og fra implementering af store offentlige IT-systemer generelt, at det sjældent er teknologien, der er noget i vejen med, men derimod teknologiens begrænsninger ikke respekteres i systemdesignet samtidig med, at implementeringen forceres. På det helt overordnede plan kan det anbefales, at implementere et GNSS baseret roadpricingsystem igennem en proces, hvor man først installerer systemet – eller måske to eller tre konkurrerende systemer i et mindre antal biler - fx 500. Når erfaringerne herfra er indhøstet, installeres det bedste system i 5000 biler, og først når erfaringerne herfra er indhentet – både erfaringer med teknikken og erfaring med de adfærdsmæssige påvirkninger - startes implementeringen i fuld skala. De første to faser i denne implementeringsproces kan med fordel gennemføres efter EU- reglerne om Precommercial Procurement, som vil give danske virksomheder gode muligheder for at være med.

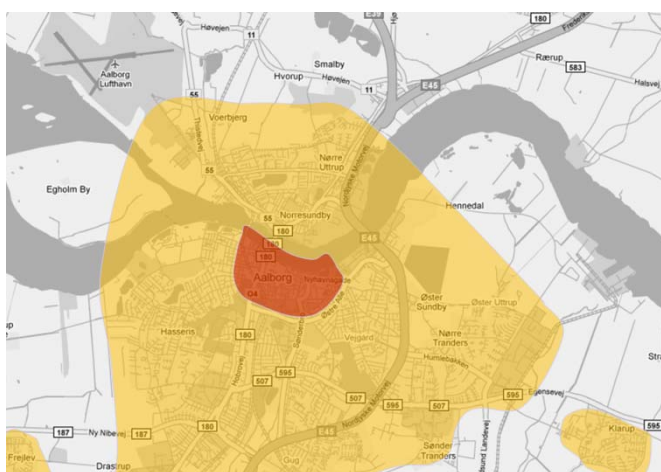
Følgende model for den endelig implementering anbefales:

- Fra en bestemt dato stilles krav om, at alle nye biler skal betale RP (roadpricing)
- Den eksisterende bilflåde vurderes af SKAT efter samme principper, som hvis man eksporterer bilen, og det beregnes, hvor meget der er tilbage af den betalte registreringsafgift. Alt efter hvor meget registreringsafgiften nedsættes i forbindelse med indførelse af RP indsættes en andel af dette beløb på bilejerens RP-konto og pengene til RP tages af denne konto, indtil den går i negativ, hvorefter bilejeren må betale på normal vis. Modellen vil betyde, at skatteprovenuet vil falde i en periode, men den vil sikre, at den eksisterende bilpark ikke falder i pris i forbindelse med indførelse af RP. RP i den eksisterende bilpark vil med denne model kunne implementeres over nogle år.

## Vurdere hvilke effekter forskellige afgiftsstrukturer kan få på trængsel, miljø og klima

Som det er nævnt ovenfor, er afgiftsstrukturen en afgørende forudsætning for design af et GNSS-baseret roadpricing system, derfor indledes med en beskrivelse af mulige afgiftsstrukturer. Principielt kan man tænke tre forskellige strukturer – som alle også kan variere i forhold til tid og køretøjstype:

- Zonebaseret, hvor afgiften kan beregnes efter to principper, dels ved passage af zonegrænsen (med mulighed for at differentiere efter trængselsretningen) kaldet bompenge, og dels efter, hvor lang tid man har opholdt sig i zonen – kaldet en tilstedeværelsesafgift. Eksempler på det første princip er Oslo og Stockholm, London er et eksempel på det andet princip.
- Km-baseret, hvor afgiften beregnes efter, hvor langt man har kørt., Afgiften kan variere både efter et zoneprincip – typisk at det er dyrt i centrum og billigt på landet – og efter et vejtypeprincip – således at det er billigst at køre på de overordnede veje (hvor vi ønsker at samle mest mulig trafik) – og dyrest på de lokale boligveje, hvor vi ikke ønsker

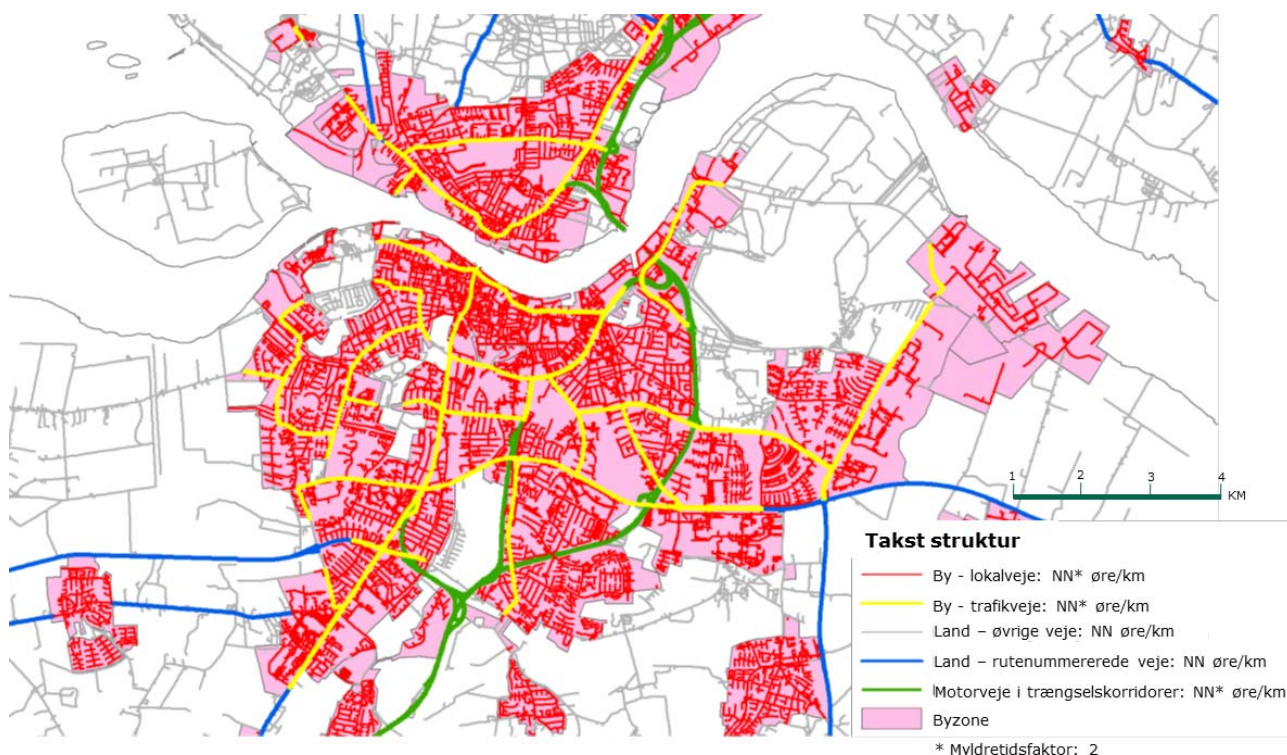


Figur 2 Eksempel på et zonebaseret RP system baseret på byens tæthed

gennemkørende trafik. Endvidere kan prisen gøres retningsbestemt, så det er dyrest at køre ind i byen om morgenen og ud af byen om eftermiddagen.

- Vejsegmentbaseret, hvor det afgiftsbelagte vejnet opdeles i segmenter af passende længde, og hvor afgiften knyttes til passage af disse segmenter. Afgiften kan varieres på samme måde som ved den km-baserede.

Et eksempel på en prisstruktur for et vejnet baseret på et princip om vejtype og byens tæthed er vist på Figur 3.



Figur 3 Eksempel på takststruktur for et RP system baseret på vejtype og byens tæthed

- Endelig kan både det km-baserede og det vejsegment-baserede princip suppleres med en koldstartsafgift, som betales ved hver koldstart – fx hvis bilen har holdt stille én time

Efter denne beskrivelse af de forskellige afgiftsstrukturer vurderes deres styrker og svagheder.

### Zonebaseret system

Styrken ved zoneafgifter er, at de ikke kræver et detaljeret digitalt vejkort. Dermed er det geografiske grundlag for afgiften både enkelt og billigt at etablere og vedligeholde. Af svagheder ved afgiften kan nævnes:

- For veje, der løber parallelt med zonegrænsen, kan det være vanskeligt at bestemme, om bilen har passeret zonegrænsen. Hvis man fx i eksemplet i Figur 4, har kørt ad Østre Alle, der er placeret udenfor tætbyzonen, vil en lille



Figur 4 Zonebaseret RP system med bufferzone



unøjagtighed i GNSS positioneringen betyde, at man måske utilsigtet passerer grænsen og måske endda flere gange på en tur. Hvis takststrukturen er pr. passage, kan det hurtigt blive dyrt. I AKTA-projektet i København var en af de afprøvede takststrukturer netop en zonebaseret struktur, og her blev dette problem løst ved at lægge en bufferzone rundt om zonegrænserne og derefter indrette beregningssystemet således, at man skal have passeret bufferzonen, før man takseres, uanset om man passerer den ene eller den anden vej. Det viste sig i praksis at fungere.

- Hvis zonesystemet indrettes med km afgifter, der varierer alt efter, hvilken zone bilen befinder sig i, tilføjes et nyt usikkerhedselement, idet distancen, som bilen har kørt, skal beregnes. Distancen kan beregnes ved to metoder, enten ved at få oplysningerne fra bilens km-tæller eller fra GNSS-systemet. Alle biler har en systematisk ikke kendt unøjagtighed på km-tælleren, medens GNSS-systemet beregner en meget nøjagtig afstand under ideelle modtagerforhold. Til gengæld kan afstandsberegningen for GNSS-systemet blive meget unøjagtig under dårlige modtagerforhold – altså har GNSS-systemet en varierende nøjagtighed. I AAU-forskningsprojektet Spar på Farten blev projektets On Board Unit (OBU) designet, så den løbende kalibrerede km-tællers visning. Systemet virkede på den måde, at hver gang GNSS-modtagerne havde positionsdata af meget høj kvalitet, kalibrerede den signaler fra bilens kilometertæller efter GNSS-modtagerens output. På denne måde havde OBU'en en løbende kalibrering, der også opfangede forhold som ændringer i hjuldiameteren ved hjulskift eller dækslid. En beregning på data fra Spar på Farten viser, at for i alt 4 mio. kørte km i projektet, var distancen målt med GNSS systemet 2 % længere end målt med det kalibrerede system baseret på bilens km-tæller. Hvis vi antager, at den etablerede metode kan opfattes som ground truth, er der en fejl på 2 %, hvis man alene forlader sig på GNSS målingerne – med det GNSS udstyr vi anvendte i Spar på Farten. Ud fra disse resultater kan det konkluderes, at afstandsmålinger alene ud fra GNSS målinger vil give et vist antal fejl, men også, at der findes tekniske metoder til at forbedre målingerne. Det betyder dog samtidig, at udstyret er afhængigt af input fra bilens km-tæller, hvilket igen betyder en mere kompliceret og dyrere montage, end hvis systemet alene skal have strøm.

### Km-baseret vejnetssystem

Et km-baseret system kan også knyttes til et digitalt vejnet. Ved et sådant system er udfordringen, at systemet skal bestemme, hvilken vej der køres på – dette kaldes mapmatching. Mapmatching er en velkendt teknologi og er kernen i ethvert navigationsanlæg. Som alle brugere af navigationsanlæg ved, kan navigationsanlægget give op, hvis modtagerforholdene for GNSS-signalerne bliver for dårlige, fx mellem høje huse eller i skovområder. Dog er dagens navigationsanlæg langt bedre end tidligere, blandt andet fordi de bruger input fra andre sensorer, hvis GNSS signalet forsvinder – fx gyro, kompas eller accelerationssensorer. Dette kaldes dead reckoning.

Navigationsanlæg anvender alene online-mapmatching, fordi det ikke giver mening at få præsenteret den korrekte rute, når man er ved destinationen. Ved roadpricing forholder det sig anderledes. Her er det ikke nødvendigt med onlinemapmatching. En model kan være først at mapmatche til vejnettet når turen er slut - dette kaldes offline mapmatching. En anden model er løbende at tilknytte alle mapmatched positioner et index, der viser, hvor sikker resultatet af mapmatchingen er, for derefter at gå tilbage og genberegne de punkter med en lav sikkerhed, når man er kommet længere frem på ruten – dette kaldes semionline mapmatching.

Sikkerheden ved et km-baseret vejnetssystem beror som ved det zonebaserede system på nøjagtigheden af afstandsberegningen, men det er vanskeligere at mapmatche præcist til et vejnet end til et zonesystem. Hvor vanskeligt det er, beror imidlertid i høj grad på afgiftsstrukturen. Ses der på afgiftsstrukturen på Figur

3 bemærkes det, at de tætte byområder har samme takst for de fleste veje. Det er alene de store veje med langt mellem husene, der har en lavere takst. På disse veje vil problemerne med en korrekt positionsbestemmelse være mindre, og da alle små veje med høje huse, der kan skygge for GNSS satellitterne, har samme takst, behøver en forkert mapmatching ikke nødvendigvis at betyde en forkert taksering.

Et km-baseret vejnetssystem giver mulighed for at taksere forskelligt i vejens to retninger.

Styrkerne ved et km-baseret vejnetssystem er således, at det er muligt at opnå forskellige takster på forskellige vejklasser og retning, hvormed man kan opnå betydelige fordele i forhold til systemets adfærdsregulerende muligheder. Svagheden er, at det er vanskeligere at mapmatche korrekt til et digitalt vejnet sammenlignet med et zonekort, og det er også en svaghed, at det er mere omfattende at etablere og vedligeholde et digitalt vejnet i forhold til et digitalt zonekort.

### **Vejsegmentbaseret system**

I et vejsegmentbaseret system opdeles det digitale vejnet i segmenter, hvorefter afgiften knyttes til passage af disse segmenter, og som ved en km-baseret vejnetssystem kan et vejsegmentbaseret system også differentieres på retninger. Et vejsegmentbaseret system har de samme udfordringer som et km-baseret vejnetssystem i forhold til at sikre en korrekt mapmatching. Til gengæld er usikkerhedselementet fra længdeberegningen fjernet, fordi afgiften er defineret som en segmentafgift og ikke en km-afgift. Udfordringerne i at etablere og vedligeholde et digitalt kort er de samme for begge systemer.

### **Koldstartafgift**

Ideen med koldstartafgiften er dels i særlig grad at påvirke de korte ture i bil, hvor miljøvenlige alternativer som gang og cykel er reelle alternativer og dels at moderne biler forurener mere og bruger mere brændstof, indtil motor og katalysator bliver varme. En koldstartafgift vil være reguleret af tiden siden sidste start og af om bilen har flyttet sig. Med en GNSS-modtager i bilen vil det være uden problemer at beregne, hvornår en koldstartafgift skal betales.

## **Forskellige afgiftsstrukturers effekt på trængsel, miljø og klima**

I det foregående afgift er styrker og svagheder ved forskellig afgiftsstruktur beskrevet. I dette afsnit er det vurderet, hvorledes forskellige afgiftsstrukturer vil påvirke trængsel, miljø (defineret som trafiksikkerhed, støj og luftforurening) og klima (defineret som CO<sub>2</sub> udslip).

Den mest simple afgiftsstruktur er en ens km-/segment- /passageafgift på alle veje til alle tider – forskellig afgift på køretøjet afhængig af størrelse, emissioner, herunder CO<sub>2</sub> udslip. En sådan afgiftsstruktur vil primært være velegnet til reduktion af CO<sub>2</sub> udslip, i mindre grad til reduktion af lokal støj og luftforurening og slet ikke til reduktion af trængsel. Og der kan argumenteres for, at den opnåede reduktion kan opnås langt billigere igennem forhøjelse af brændstofafgifterne – eller ved en simpel km-afgift opkrævet igennem aflæsning af bilernes km-stand ved de periodiske syn. Det næste problem er, at det samfundsøkonomisk er betydeligt billigere at reducere CO<sub>2</sub> udslippet i andre sektorer end transportsektoren - skyggeprisen på CO<sub>2</sub> er langt højere i transportsektoren end i fx industrien. Men det er klart, at hvis endemålet er et fossilfrit transportsystem i 2050, må også transportsektoren i gang med CO<sub>2</sub> reduktioner, uanset høje skyggepriser.

Skal trængslen påvirkes, må afgiftsstrukturen afhænge af både tid og geografi, således at det er dyrt i tætbyen i myldretiden, billigere udenfor myldretiden og billigst på landet. Differentieres afgiftsstrukturen

yderligere med retningsfordeling, vil trængslen kunne påvirkes endnu mere målrettet. En sådan reduktion af byernes trængsel vil også reducere den lokale luftforurening i byerne. Endelig vil en differentiering på vejklasser kunne reducere vejtrafikkens miljøpåvirkning yderligere indenfor områderne trafikulykker, utryghed og støj.

Men også afgiftens størrelse har betydning for effekterne. Det helt overordnende forhold her er, at skal man for alvor reducere trængsel og mindske biltrafikkens miljø- og klimapåvirkning, skal afgifterne være af en størrelse, der vil indbringe et betydeligt provenu. Og opstilles en forudsætning om, at provenuet fra et RP-system skal gå til nedsættelse af de faste afgifter på biler, betyder det, at bilejerskabet vil stige kraftigt. Det vil ske, fordi antal biler pr. 1000 indbygger i Danmark er lavt i forhold til sammenlignelige lande, og dermed er der et stort potentiale for flere biler. Og erfaringen viser, at når bilen første står i garagen, bliver den brugt, og dermed er der også stor sandsynlighed for, at biltrafikarbejdet stiger.

## Fiskale aspekter af roadpricing

Hvem skal fastsætte taksterne på den enkelte vej? Er det vejbestyrelsen for vejen – oftest kommunen – som har ansvaret for, at trafikken kan afvikles og at vejens lokale miljøkonsekvenser minimeres? Eller er det staten, som overordnet har ansvaret for nedbringelse af biltrafikkens CO<sub>2</sub> udledning?

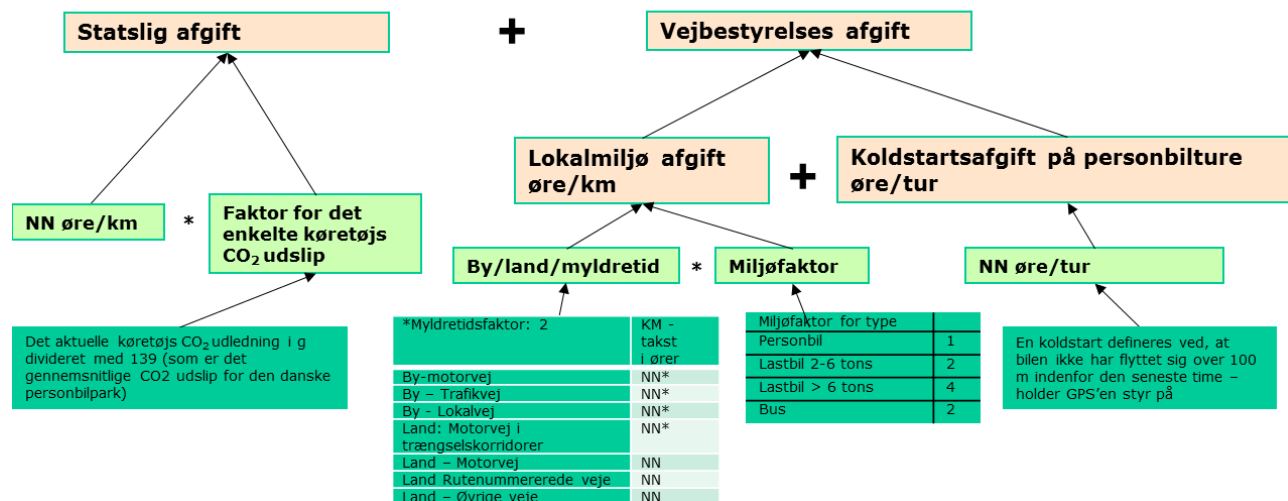
Hvis vi et øjeblik forestiller os, at det alene er staten, der fastlægger taksterne, vil det reelt betyde, at taksterne enten bliver ens for alle veje, eller - hvis taksterne differentieres - at staten kommer til at overtage ansvaret for kommunernes trafikplanlægning. Deles derimod taksten på den enkelte vej i en statslig afgift og en vejbestyrelsesafgift fastsat af hhv. stat og vejbestyrelse, kan staten opkræve en CO<sub>2</sub> afgift og vejbestyrelsen en afgift for de lokale trængsels- og miljøomkostninger. På denne måde bliver det stadig kommunerne, der bedriver trafikplanlægning på de kommunale veje samtidig med, at kommunerne får et nyt og effektivt værktøj hertil.

Hvem skal have provenuet? Den politiske diskussion har hidtil gået på en omlægning af bilafgifterne, og deri synes implicit at ligge, at provenuet skal gå til staten. Men hvilke konsekvenser ville dette scenarie mon få for niveauet på de ovenfor nævnte kommunalt fastsatte afgifter? Næppe mange lokalpolitikere vil frivilligt agere skatteopkrævere for staten. Derfor bør afgiften deles mellem staten og vejbestyrelsen, således at hhv. staten og vejbestyrelsen selv fastsætter afgiftens størrelse og samtidig hver især får provenuet. Desuden vil en sådan struktur give kommunerne mulighed for at føre forskellig trafikpolitik - nogle vil gerne fremme cykling og kollektiv trafik, andre vil måske hellere basere deres trafikplanlægning på veje og biler. Begge dele bliver muligt, idet CO<sub>2</sub> afgiften sikrer klimabidraget. Men om kommunen efterfølgende overhovedet vil have en lokal afgift på kommunevejene, og om de i givet fald vil bruge denne afgift til veje eller kollektiv trafik, er op til det lokale selvstyre.

Et forslag til en takststruktur er vist på Figur 5.



**Kørselsafgift =**  
**Statslig CO<sub>2</sub> afgift øre/km +**  
**Vejbestyrelses afgift**  
**(Lokalmiljø afgift øre/km + Koldstartsafgift øre pr. tur)**



Figur 5 Principper for en takststruktur for roadpricing

Den statslige afgift er en fast afgift pr. km i forhold til køretøjets CO<sub>2</sub> udslip. Vejbestyrelsesafgiften er en betaling for vejtrafikkens lokale trængsels- og miljøpåvirkninger. Afgiften fastsættes af den enkelte vejs vejbestyrelsen (stat og kommune), som også får provenuet. Afgiften foreslås at bestå af to delelementer, dels en km-afgift og dels en koldstartsafgift. Km-afgiften er betaling for trafikens lokale trængsels- og miljøgener og foreslås differentieret i forhold til vejtype, således at det er billigst at køre på trafikvejene og dyrest at køre på lokalvejene. I myldretiden foreslås priserne fordoblet i byen, men ikke på landet, hvor der ikke er trængsel. Km-afgiften foreslås også differentieret efter bilens størrelse med en miljøfaktor, således at lastbiler o.l. betaler mere end personbiler. Koldstartsafgiften pålægges alene personbiler og er et middel til at få flyttet korte ture fra bil til cykel og afgiften begrundes yderligere med, at moderne personbiler i særlig grad forurener på de første km, indtil motor og katalysator er varme.

## Håndtering af manglende og unøjagtige GNSS-positioner

Et GNSS-system har primært to fejlkilder: manglende eller unøjagtige positioner. En GNSS-modtager til bilbrug er designet til at levere en position hvert sekund, men erfaringerne fra AAU-forskningsprojekter omkring GNSS-modtagere til bilbrug viser, at der er udfald, således at GNSS-modtageren i perioder ikke leverer positioner. GNSS-positionen kan også i perioder være unøjagtig – typisk fordi modtageren befinder sig uden direkte sigt til satellitterne (mellem høje bygninger, under træer eller i en tunnel eller parkeringshus). Men hvor stort er problemet, og hvordan kan problemet håndteres?

### Problemets størrelse

Fra AAU-projektet Spar på Farten har vi en database omfattende omkring 300.000 bilture med logdata for hvert sekund, i alt godt 400 mio. observationer. Ved at gennemanalysere denne database kunne der skabes et overblik over problemets størrelse – i forhold til det konkrete udstyr, som blev anvendt i dette projekt, og som blev produceret i 2006. Som det fremgår af Kaj Borres notat, er der løbende sket store forbedringer i præcisionen af GNSS-modtagere til bilbrug. Dermed vil Spar på Farten logdata kunne danne worst case senarie – forstået på den måde, at hvis Spar på Farten logdata er tilstrækkelige til at give et tilfredsstillende resultat i forhold til pålidelighed og nøjagtighed i afgiftsberegningen, vil dagens GNSS-modtagere givetvis

også være pålidelige. En meget foreløbig analyse af problemet med manglende logdata på Spar på Farten data viser, at 5,5 % af GNSS logningerne manglede, og at 9 % af turene havde huller større end 30 sekunder i logdata. Tal der understreger, at det vil være nødvendigt at adressere problemet ved udvikling af et roadpricing system. Databasen indeholder også oplysninger om nøjagtigheden på hver enkelt af de 400 mio. positionsdata. Yderligere analyser på Spar på Farten data vil kunne give mere sikker viden om problemernes omfang, men det har desværre af tids- og ressourcemæssige grunde ikke været muligt indenfor rammerne af dette notat af foretage disse analyser. Sidst i dette notat er det tillige beskrevet, hvorledes analyse af data fra ITS Platform i Nordjylland også ville kunne kvalificere vores viden om manglende og unøjagtige GNSS-positioner.

### **Hvordan håndteres problemet?**

Mapmatching-algoritmer vurderes i høj grad at kunne afhjælpe manglende usikkerhed i positionsberegningen og manglende GNSS positioner i indtil måske 30 sekunder. Metoder til håndtering af disse problemer hænger imidlertid tæt sammen med takststruktur og krav til nøjagtighed og pålidelighed i afgiftsberegningen, men afhænger også af, hvor afgiftsberegningens nulpunkt lægges, eller sagt på en anden måde: om beregningsalgoritmerne udformes, så usikkerhed i afgiftsberegningen primært kommer bilisten til gode. Følgende princip kunne lægges til grund for afgiftsberegningen: Ved manglende positioner eller usikker positionsberegning forudsættes det beregningsmæssigt, at bilisten har kørt i en lige linje / ad den billigste rute mellem de kendte positioner – alt efter takststrukturens udformning.

Takststrukturens betydning kan illustreres af dette eksempel fra Spar på Farten projektet. I eksemplet handlede det ikke om at bestemme prisen for at køre på en given vej, men om at bestemme den rigtige hastighedsgrænse og vise denne for føreren. Efterfølgende har vi som et eksperiment analyseret i alt 60 ture i detaljer og bestemt, hvor mange fejl, der var i bestemmelsen af hastighedsgrænsen. Resultatet af denne analyse var, at vores mapmatching i over 99 % af tilfældene ramte den rigtige hastighedsgrænse. Så selv om vi som tidligere nævnt både manglede positioner og havde dårlig positionsbestemmelse, gik det altså godt i 99 % af tilfældene på trods af, at kravet i Spar på Farten projektet var, at vi skulle beregne hastighedsgrænsen i realtid. I et roadpricing- scenarie vil man kunne nøjes med at fortælle prisen på en tur bagefter, når turen er afsluttet, og dermed kunne vente med at mapmatche, til man ved, hvor turen ender. På denne måde vil kvaliteten stige betragteligt. Når man bedømmer de 99 %'s sikkerhed, skal det også erindres, at udstyr til dette forskningsprojekt blev produceret midt i 00'erne. Siden er GNSS modtagerne blevet langt bedre, og de vil blive endnu bedre i fremtiden, bl.a. når Galileo kommer i drift. Meget tyder således på, at man kan opnå en ganske høj sikkerhed i bestemmelse af den vej, bilen befinder sig på.

### **Reliabiliteten i et roadpricing system**

Reliabilitet – altså evnen til at få samme pris på samme tur hver gang – er en anden vigtig parameter ved et roadpricing system. Og den største reliabilitet vil fås, hvis usikkerheden håndteres symmetrisk omkring middelværdien og ikke som ovenfor foreslået, hvor nulpunktet lægges, så usikkerheder primært kommer bilisten til gode. I sidste ende er det en politisk afvejning, hvor man lægger sig.

Takststrukturen har også stor indflydelse på reliabiliteten. Et zonesystem, hvor man betaler for passager over zonegrænser eller for opholdstid i zonen, er nok den takststruktur, der vil kunne præstere den højeste reliabilitet. Derefter kommer et vejsegmentbaseret system, hvor beregningsopgaven alene går på, om bilisten har været på et givent vejsegment eller ej – det system, der planlægges for både de franske og danske lastbilafgifter. Takststrukturen med den største udfordring for reliabiliteten er et km-baseret system, hvor der som tidligere nævnt i dette notat vil være problemer med en korrekt afstandsmåling.

## Hvordan der kan tages højde for snyd, f.eks. jamming af signaler

Ethvert betalingssystem vil blive udsat for snyd, men når debatten om roadpricing følges, kan indtrykket være, at et sådant system i særlig grad vil blive udsat for snyd, og at det vil blive meget vanskeligt at afsløre dette snyd. Helt overordnet er det vanskeligt at forestille sig, at et roadpricing system vil få et større snydpres end andre betalingssystemer som fx el, vand og varme. Dertil kommer, at der er mange muligheder for at imødegå snyd. I det følgende nævnes en række snydmuligheder og mulighederne for at imødegå dem.

1. GNSS signalerne er svage og ved at montere en jammer eller blot et stykke alufolie over boksen vil det ikke være muligt at positionere bilen.  
*En jammer eller et folie kan umuliggøre en positionering, men en RP-boks kan forsynes med et gyro/accelerometer, som kan konstatere, om bilen bevæger sig, og gør den det i længere tid uden at få et gyldigt GNSS signal, kan RP-boksen melde forsøg på snyd til backendserveren. Et stykke alufolie eller anden tildækning af antennen kan måles på antennesignalerne.*
2. Der kan monteres en falsk GNSS sender, der overdøver de rigtige GNSS signaler, så GNSS modtageren tror den er et andet sted, end den faktisk er.  
*Jf. Kaj Borres notat er det i dag muligt at autentificere signalerne. En anden svaghed ved at sende GNSS positionen på skovtur er, at det skal være muligt at mapmatche til et gyldigt vejnet, der hvor signalet lander.*
3. Strømmen til RP-boksen kan afbrydes.  
*Det vil være nødvendigt at indføre en bestemmelse om, at en bil med nummerplader maksimalt må stå uden strøm i fx en uge, medmindre den er midlertidigt afmeldt. RP-boksen er forsynet med et backupbatteri, og hvis strømforsyningen afbrydes, meldes dette til backupserveren, som, indtil ugen er gået, holder øje med, om bilen bevæger sig, er afmeldt eller den er kommet på stationær strøm igen.*
4. Forstyrrelse af modtagerforholdene, så positioneringen måske ikke forhindres, men blot bliver dårlig – eller blot en dårlig installation fra montørens side:  
*Ved at logge den gennemsnitlige kvalitet af GNSS-positionen af alle biler, der passerer et givet vejsegment, kan biler med dårligere positionsbestemmelse end gennemsnittet registreres, og hvis den samme bil konstant har dårligere positionsbestemmelse end gennemsnittet, kan det tyde på forsøg på snyd eller en dårlig installation. I begge tilfælde må bilisten kaldes til kontrol.*

## Generelle kontrolmuligheder

1. Logning af kørt distance i RP-boksen, som efterfølgende sammenholdes med km-stand ved periodisk syn.
2. Både fysisk og elektronisk ”plombering” af RP-boks – plomberinger der kontrolleres ved periodisk syn.
3. Udstyre RP-boksen med et OK signal, som konstant udsendes, hvis boksen kører korrekt. OK-signalet kan udsendes elektronisk, så det kan opfanges af permanent eller mobilt vejsideudstyr, men det kunne også være en synlig diode på bilen, der fx lyser grønt eller rødt.
4. En spændende mulighed kunne være at indbygge RP-boksen i bilens bagerste nummerplade og i denne anbringe en lille diode. En nummerplade med indbygget RP-boks ville kunne laves mindre end én cm tyk og ville kunne få strøm fra bilens nummerpladebelysning. En sådan løsning ville lette monteringen, men kan en sådan nummerplade konstrueres tilstrækkeligt robust?

5. Fysisk vejsidekontrol, hvor biler stoppes, og deres RP-udstyr kontrolleres.

Denne kontrolmetode er meget kostbar og bør anvendes mindst muligt. Måske kunne en sådan kontrol kombineres med analyser af logdata, hvor "mistænkelige" biler inddeles i to grupper, biler, hvor der er åbenlyse problemer, og som indkaldes til kontrol, og biler, der blot ser lidt mistænkelige ud. Hvis en fysisk vejsidekontrol kombineres med, at kun biler fra denne liste udtages til vejsidekontrol, kunne vejsidekontrollen gøres mere effektiv.

Denne gennemgang af muligheder for snyd og kontrol er givetvis ikke udtømmende, men hovedpointen er, at der er mange og bedre muligheder for kontrol i et RP-system sammenlignet med andre betalingssystemer og dermed også, at der ikke er nogen begrundet frygt for, at systemet vil blive udsat for et massivt snydpres.

### Kontrolstrategi

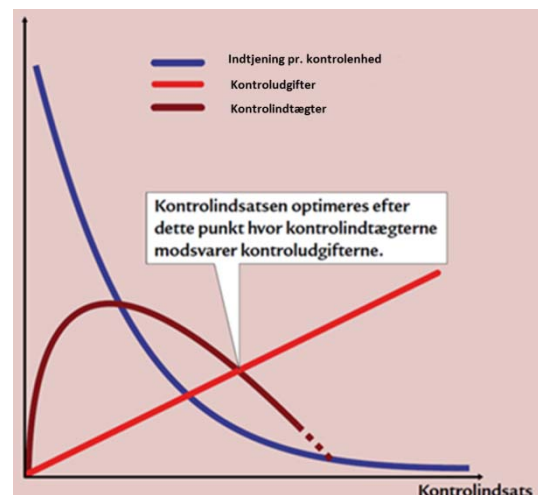
Kontrolstrategien kan principielt tilrettelægges ud fra to forskellige synspunkter. Man kan starte med et meget højt kontrolniveau for derigennem at dokumentere overfor trafikanterne, at alle forsøg på snyd bliver fanget. Det er tilgangen for kontrolsystemet for trængselsafgiften i London, hvor man registrerer nummerpladen på en gennemsnitsbil 3,5 gange i døgnet og bruger store dele af provenuet på kontrol.

I Tyskland har lastbilafgiftssystemet et fire-strengt kontrolsystem:

- Automatisk kontrol ved hjælp af videoovervågning
- Faste kontrolstationer (portaler med mikrobølgesendere, laserscannere og video til at kontrollere om RP-boksen er tændt, registrere bilens nummerplade og form)
- Kontrol ved mobile kontrolenheder
- Kontrol af tyske transportvirksomheders regnskaber og dermed også høje kontrolomkostninger.

Men man kunne også et øjeblik hæve sig lidt op i helikopterperspektiv og stille spørgsmålet: Hvor meget vil vi betale for at sikre, at den sidste bilist betaler? I S-togene har passagererne pligt til selv at købe billet og herefter foretager DSB's kontrollører stikprøvekontrol i et sådant omfang, at de marginale kontroludgifter bliver lig med de marginale indtægter fra kontrol og øget billetsalg. På denne måde belaster kontrolomkostningerne ikke den ærlige rejsende – vel et godt princip, som også kunne bruges på et roadpricing system?

Med reference til forrige afsnits beskrivelse af kontrolmetoder vil et sådant system starte med billige automatiske analyser af logdata, der kan udpege outliers og kontrol af disse under periodiske syn. Giver dette stadig for mange snydere, kan der suppleres med automatisk kontrol igennem vejsideudstyr på strategiske punkter i vejnettet samt mobilt vejsideudstyr. Og som den sidste, og dyreste, udvej kan der suppleres med fysisk politikontrol - men stadig kun i et omfang, så kontrolafgifter kan betale omkostningerne.



Figur 6 Principiel sammenhæng mellem kontrolindsats, kontroludgifter og kontrolindtægter ved et roadpricingsystem

## EETS – direktivet og private serviceprovidere

I den hidtidige beskrivelse er det forudsat, at RP-boksen er en myndighedsboks. Imidlertid kræver EETS-direktivet, at udenlandske bilister, der kommer med en EETS kompatibel boks, skal kunne anvende denne i Danmark. EETS-direktivet er helt overordnet og fastlægger alene, at grundteknologierne skal være GNSS og/eller DSRC, og hvordan man i praksis skal håndtere udenlandske bokse vides ikke. Men man må vel forestille sig, at den udenlandske bilist med en EETS kompatibel boks igennem sin serviceprovider får pligt til at opgradere boksen med en dansk softwarepakke indeholdende blandt andet digitale kort, takster, beregningsalgoritmer osv., ligesom det vil være den udenlandske serviceprovider, som skal afregne roadpricingafgifterne med SKAT. Kontrolfunktionen formodes også at være serviceproviderens ansvar for så vidt angår kontrollen baseret på boks og logdata, og samtidig må der etableres standarder, der gør, at danske kontrolmyndigheder både ved de automatiske og fysiske kontroller er i stand til at kontrollere udenlandske bokse. Hele den ovenstående problematik vil også gøre sig gældende, hvis det besluttes, at der, som det var planlagt i det stoppede hollandske RP-projekt, parallelt med en myndighedsboks også skal være mulighed for private firmaer at tilbyde RP-løsninger efter en certificeringsproces.

## Datasikkerhed og overvågningsaspektet

Datasikkerhed og overvågningsaspektet har været central i debatten om roadpricing. Hvordan sikres borgerne muligheden for at færdes anonymt? Det første spørgsmål er, om det nødvendigvis skal være muligt at færdes anonymt i bil? Sammenlignes med luftfartsområdet har det siden 9/11 været et krav, at man som enkeltindivid skal legitimere sig ved flyrejser – i USA er der tilsvarende krav ved længere togrejser. Så man kunne spørge: Hvorfor skal det være muligt at færdes anonymt i bil? Dernæst kan der argumenteres for, at det er bilen og ikke føreren eller passagerne, der overvåges med et roadpricing system. Der kan også argumenteres for, at med mulighederne for overvågning af personers færden igennem mobiltelefoner og smartphones virker overvågningsmulighederne i et roadpricingsystem som ubetydelige. Endelig har en løsning, hvor også private serviceprovidere får mulighed for at levere RP-løsninger, den fordel, at staten ikke umiddelbart kan tjekke borgernes færden, men som ved mobiltelefoner må kunne præsentere en dommerkendelse.

Men er det muligt at konstruere et anonymt system? Ja, man kunne forestille sig, at afgiftsberegningen alene foregår i RP-boksen i bilen: Når turen slutter, vises turens pris i et display for chaufføren. Hvis chaufføren intet foretager sig, sender RP-boksen beløbet til backendserveren, som trækker beløbet på bilens konto. Er chaufføren uenig i prisen, trykkes på en knap på displayet, og alle turens logdata sendes til backendserveren, hvor chaufføren efterfølgende kan inspicere dem og finde eventuelle fejl og klage til rette myndighed. Et sådant system vil imidlertid have en række svagheder i forhold til et overvåget system, blandt andet vil det være sværere at forebygge snyd. Endvidere vil det også give problemer i forhold til EETS direktivet.

## ITS Platform Nordjylland

Aalborg Universitet har sammen med firmaerne Gatehouse og Inntrasys etableret en generel testplatform til afprøvning af ITS løsninger. Testplatformen består af en GNSS-enhed i godt 400 biler og en backendserver. GNSS-enheden opsamler løbende information om deltagerbilernes position, hastighed, acceleration, kurs etc. og leverer disse informationer til backendserveren i realtid. Testplatformen anvendes i øjeblikket til at teste en række applikationer - blandt andet automatisk betaling for parkering,



kørselslog (kørebog til Skat, energioekonomisk kørsel og risikofyldt kørsel) og trafikinformation. Samtidig indsamles alle logdata fra de deltagende biler i en database.

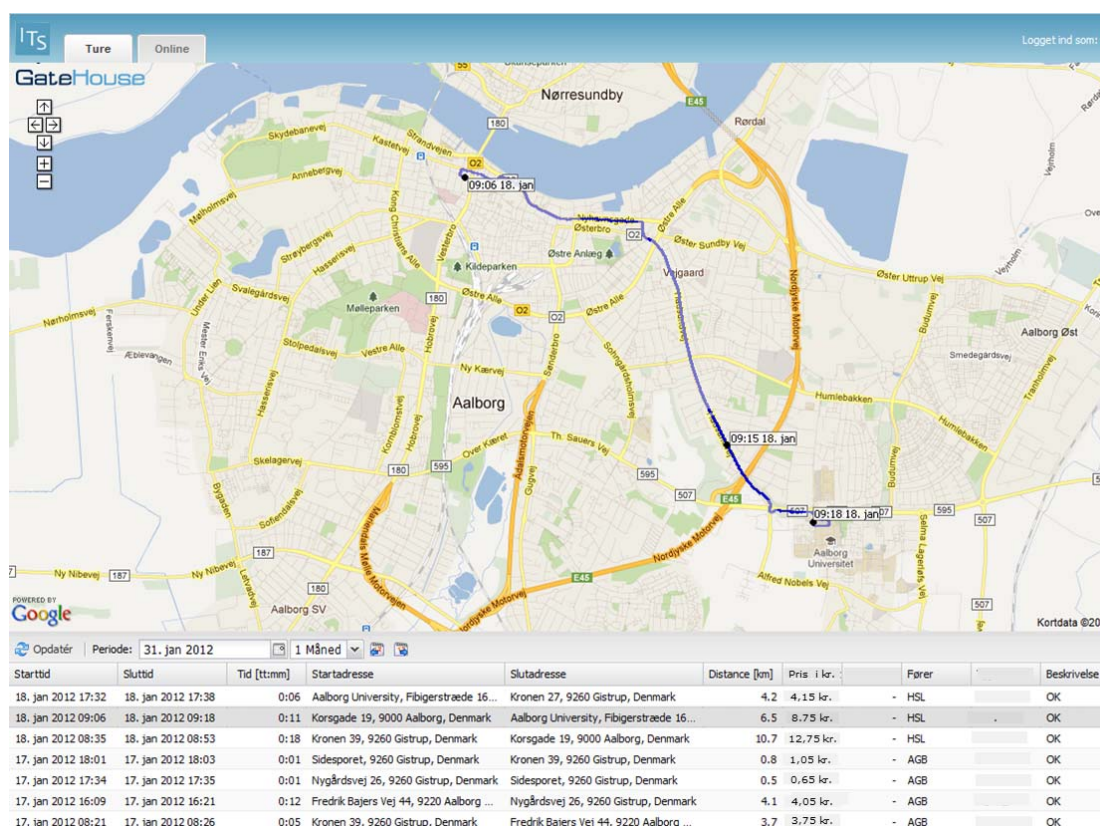
I forhold til Trængselskommissionens arbejde med en roadmap for landsdækkende roadpricing er platformen interessant på to områder:

### Analyse af logdata

Tidligere i dette notat er omtalt muligheden for, igennem analyse af logdata fra Spar på Farten, at få værdifuld viden om styrker og svagheder ved et GNSS baseret roadpricing system. En yderligere kvalificering af sådanne vurderinger vil kunne fås igennem analyse af logdata fra ITS Platformprojektet. Det kunne fx være at teste pålidelighed/nøjagtighed af afgiftsberegningen på en sandsynlig takststruktur og logdata fra ITS Platformprojektet.

### Første test af en RP-applikation

Platformen kan også anvendes til en meget prisbillig første test af pålidelighed og nøjagtighed af et RP-koncept. Det kan gøres ved blot at forsyne platformens digitale vejnetskort med en takststruktur for alle veje i Danmark og derefter lade en del af platformens bilejere deltage i et forsøg, hvor platformen udregner prisen i henhold til den valgte takststruktur for deltagerens ture. Efterfølgende vises turens pris på backendserveren sammen med et kort, der viser den rute, som platformen har beregnet. Deltagerne i forsøget vil derefter blive bedt om på backendserveren at inspicere hver enkelt tur og angive, om turen er korrekt beregnet. Et eksempel på det skærbillede, som deltagerne vil blive bedt om at inspicere, er vist på Figur 7.



Figur 7 Eksempel på skærmdump fra ITS platform der viser en liste over en deltagers ture, deres pris. Endvidere er ruten for den markerede tur vist.

Her er en brugers ture og de tilhørende udregnede priser vist, og ruten for den markerede tur fra Korsgade i Aalborg Centrum til Aalborg Universitet er vist på kortet. Brugeren skal nu inspicere ruten, den udregnede pris og markere turen med OK, hvis der ingen fejl er – ellers noteres fejlen i et bemærkningsfelt. Deltager fx 100 bilister i forsøget i 3 måneder, kan der forventes inspiceret 36.000 ture, hvor der i alt er tilbagelagt lidt under 1 mio. km. En sådan test på ITS Platformen vurderes at kunne give tilstrækkelig baggrund for at afgøre, om den valgte takststruktur, i kombination med den valgte RP-boks, er pålidelig nok til et kørselsafgiftssystem.